УДК 625.72

О.І. Повзун, С.О. Вірич, С.В.Кононихін, Т.В. Горячева
Красноармійський індустріальний інститут
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
пл. Шибанкова, 2, м. Красноармійськ, Донецька обл., 85302, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ «ДЬОГОТЬ – ПОЛІСТИРОЛ»

O.I. Povzun, S.O. Virych, S.V. Kononykhin, T.V. Goryacheva
Krasnoarmeisk Industrial Institute SHEI "Donetsk National Technical University
area Shibankova,2, Krasnoarmeisk, Donetsk region, 85302, Ukraine

MODELING OF OPTIMUM INFLUENCE OF PARAMETERS OF AN INTELLECTUAL SYSTEM "TAR-POLYSTYRENE"

А.И. Повзун, С.А. Вирич, С.В. Кононыхин, Т.В. Горячева
Красноармейский индустриальный институт
ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»
пл. Шибанкова, 2 , г. Красноармейск, Донецкая обл., 85302, Украина

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ «ДЕГОТЬ-ПОЛИСТИРОЛ»

У статті проведено математичне й комп'ютерне дослідження і оптимізацію інтелектуальної системи «дьоготь – полістирол». Розраховано й побудовано тривимірні діаграми параметрів оптимізації системи – фактори варіювання. За допомогою методів математичного планування експерименту визначені оптимальні концентрації полістиролу в дьогті відповідно до його в'язкості та термін приготування дьогтеполістирольного в'яжучого.

Ключові слова: математична модель, варійовані фактори, параметри оптимізації, функція відклику.

In article put a mathematical and computer reseach and optimization of the intellectual system "tar - polystyrol". The calculated and concnructed the three dimensional diagram parameter optimization - factors of variation. The determined optimal concentration of polystyrol in the tar depending on the viscosity and cooking time of the tarpolystyrol binder using the methods of mathematical planning of experiment.

Key words: mathematical model, variable factors, optimization parameters, response function.

В статье проведено математическое и компьютерное исследование и оптимизацию интеллектуальной системы «деготь – полистирол». Рассчитаны и построены трехмерные диаграммы параметр оптимизации – факторы варьирования. С помощью методов математического планирования эксперимента определены оптимальные концентрации полистирола в дегте в соответствии с его вязкостью и время приготовления дегтеполистирольного вяжущего.

Ключевые слова: математическая модель, варьируемые факторы, параметры оптимизации, функция отклика.

Вступ

Нещодавно кам'яновугільні дьогті були основним в'яжучим у дорожньому будівництві України. Однак, наразі вони майже повністю витиснуті, оскільки за своїми технічними показниками поступаються дорожнім нафтовим бітумам [1-4]. Не останню роль відіграє більш висока летючість дьогтів і, як наслідок, більша токсичність і помітніше забруднення навколишнього середовища під час виробництва і використання дьогтебетонів.

Одним з ефективних технологічних засобів поліпшення властивостей кам'яновугільних дьогтів є введення до їх складу у невеликій кількості полімерів або їх відходів [1-14].

За хронологією проведених наукових досліджень, відповідно до [6], кам'яновугільний дьоготь марки Д-3 (малов'язкий) змішували з полівінілхлоридом (ПВХ) при температурі 90°С впродовж одної-двох діб залежно від вмісту ПВХ (7, 8 та 9%). Значне поліпшення зчеплення з мінеральним матеріалом і деформативних властивостей при низьких температурах викликає добавка 8 % ПВХ, а дьогтеполімерне в'яжуче з 7 % ПВХ має зчеплення і когезію при 50 °С у 2 рази вищу, ніж у бітуму БНД 130/200.

Найрадикальніших змін вдається досягти, об'єднуючи дьоготь і епоксидну смолу ЕД-6. Дослідження були проведені зі вмістом 10, 20 і 30 % ЕД-6 у дьогті [6].

Результати досліджень [7] і дані виробничого досвіду свідчать про те, що найбільш високу якість дьогтеполімерних в'яжучих і матеріалів на їх основі можна здобути у випадку використання для суміщення з дьогтями термопластичної полімерної смоли, особливо полімерів вінілової групи, а також відходів, що вміщують їх сополімери. Але оптимальна концентрація таких полімерів не визначена.

Введення в дьоготь добавок відходів полістиролу (ПС) сприяє підвищенню його в'язкості, розтяжності й еластичності [8]. Необхідна для цієї мети кількість таких добавок залежить від марки вихідного дьогтю і потрібної марки дьогтеполімерного в'яжучого (ДПВ). Так, наприклад, для того, щоб одержати ДПВ-6, необхідно до вихідного дьогтю марки Д-2 додати 7,5 % відходів ПС, тоді як у випадку застосування дьогтю марки Д-5 потрібно менш за 1 % такого відходу [8].

Кількість полістирольного пилу (ППС), що необхідна для приготування заданої марки ДПВ, залежить від в'язкості вихідного дьогтю і змінюється в межах 1,5 – 9,5 % [10]. Були досліджені в'яжучі: дьоготь Д-2 + 9,5 % ППС; дьоготь Д-3 + 8,0 % ППС; дьоготь Д-4 + 5,5 % ППС; дьоготь Д-5 + 3,0 % ППС; дьоготь Д-6 + 1,5 % ППС. Суміщення ППС з дьогтем проводили впродовж двох годин при температурі 120 °С.

У разі використання, як полімеру, кубових залишків ректифікації стиролу (КЗРС), були приготовані дьогтеполімерні в'яжучі марок ДПВ-4 – ДПВ-7, у складі яких містилось 15 – 36 КЗРС, 35 – 54 кам'яновугільного пеку і 10 – 50 розріджувача-пластифікатора, % за масою [10]. Оптимальних кількостей ППС і КЗРС теж не обчислено.

Простішим і продуктивнішим, а також менш енергоємним, на думку авторів, [11] виявився спосіб термокаталітичної модифікації дьогтю КЗРС. Це досягалося шляхом одночасного і послідовного введення в суміш дьогтю з КЗРС 0,1-0,3 % прискорювача полімеризації стиролу (хлорне залізо $FeC\ell_3$), 1-5 % добавки молотої технічної сірки, що розчинюється в дьогті і структурує його, і подальшого прогрівання суміші при температурі 120°С впродовж 1-2 годин. Відомості про характер впливу добавок сірки на властивості в'яжучого наведено лише для ДПВ, яке містить 80 % дьогтю марки Д-3, 19,7 % КЗРС і 0,3 % $FeC\ell_3$, але не зазначено, чи є такі співвідношення між компонентами ДПВ оптимальними [11].

Залежно від потрібної якості готової в'яжучої композиції і властивостей вихідної смоли випалювальних печей (СВП), до останньої додають 1-48 % дьогтю і 1-5% дрібнодисперсних відходів виробництва полівінілхлориду, перхлорвінілу або полістиролу [12]. Технологічний режим таких в'яжучих композицій не відрізняється від технології приготування ДПВ з добавками термопластичних полімерів [7].

Зі збільшенням в'язкості вихідного дьогтю витрати добавок відходів виробництва полімерів фенілетилену скорочуються, але й одночасно з цим знижується і еластичність

одержуваних дьогтеполімерних в'яжучих [13]. Були досліджені в'яжучі: дьоготь Д-2 + 10,0 % добавки; дьоготь Д-3 + 8,5 % добавки; дьоготь Д-4 + 5,5 % добавки; дьоготь Д-5 + 3,2 % добавки; дьоготь Д-6 + 1,5 % добавки. Оптимізацію складів ДПВ і часових режимів їх приготування не проведено [13].

Для використання КЗРС, як ефективного модифікатора кам'яновугільних дьогтів, розроблена двостадійна технологія приготування ДПВ [2]. На першому етапі здійснювалася полімеризація стиролу у середовищі ароматичних вуглеводнів. Як середовище для полімеризації КЗРС був використаний кам'яновугільний пек. Для приготування дьогтеполімерних в'яжучих необхідної в'язкості на другому етапі технології здійснювалося розрідження пеко-КЗРС композиції малов'язким дьогтем або кам'яновугільною смолою. Експериментально встановлено, що, за умов одержання дьогтеполімерних в'яжучих з низькою температурою крихкості, високою еластичністю та деформативністю при низьких температурах, вміст в них КЗРС має бути в межах 20-35 %, а пеку – 35-55 %.

Визначено температуру крихкості ДПВ на КЗРС і ППС таких складів: 19,5 % КЗРС + 45,5 % пеку + 35 % дьогтю Д-2; 36,0 % КЗРС + 54,0 % пеку + 10 % дьогтю Д-2; 9,5 % ППС + 90,5 % дьогтю Д-2; 3,0 % ППС + 97,0 % дьогтю Д-2 [2].

Аналіз експериментальних даних показує, що модифікація кам'яновугільних дьогтів ППС та КЗРС забезпечує зростання коефіцієнтів водостійкості та морозостійкості дьогтеполімербетонів на їх основі, порівняно з дьогтебетонами [2].

З усіх перелічених у даній роботі полімерів, які застосовують для поліпшення якості кам'яновугільних дьогтів, оптимізацію системи «дьоготь – полімер» здійснено лише для відходів ПВХ [14], [15], математичне моделювання якого детальніше надано в [4]. Для цього було використано рівномірний симетричний квазіортогональний план для п'яти факторів на п'ятьох цілочисельних рівнях (-2; -1; 0; +1; +2) [16].

У роботі [9] надано технологічні режими приготування дьогтеполістирольних в'яжучих, але оптимізацію їх і складів ДПВ за допомогою методів математичного планування експерименту не було виконано.

Метою даної роботи є розроблення математичної моделі для оптимізації системи «дьоготь – полістирол» на інтелектуальному рівні, отримуючи дьогте-полістирольне в'яжуче, яке за фізико – механічними властивостями і екологічними характеристиками наближатиметься до бітуму нафтового дорожнього.

Використовуючи метод математичного планування експерименту, **задачами дослідження** є:

1. Визначення оптимальної умовної в'язкості дьогтю за C_{30}^{10}, с (секунди):

10 – діаметр стічного отвору, мм;

30 – температура витікання 50 мл в'яжучого на стандартному віскозиметрі,^{o}C.

2. Визначення оптимальної концентрації полістиролу в кам'яновугільних дьогтях різної в'язкості;

3. Визначення оптимального терміну виготовлення дьогтеполістирольного в'яжучого (тобто раціонального часу суміщення полістиролу з дьогтем під час перемішування даної суміші).

Основна частина

У даній роботі за об'єкт дослідження було прийнято:

- середовище, що модифікується, - кам'яновугільні дьогті - складені з середньо-температурного пеку і антраценового масла, що відповідають вимогам ГОСТ 4641;

- полімер - полістирольний пил (ПС) ВАТ «Концерн «Стирол» (м. Горлівка Донецької області) - відхід виробництва цехів суспензійної полімеризації стиролу, що утворюється під час відстоювання стічних вод. Він являє собою дрібнодисперсний порошок з максимальною крупністю частинок не більш за $6{,}3\cdot10^{-5}$м. Істинна густина цих відходів дорівнює 1050 - 1100 кг/м^3, а насипна густина становить 650 - 720 кг/м^3; молекулярна маса - $9\cdot10^4$ в.о.

Дьогтеполімерне (дьогтеполістирольне) в'яжуче (ДВП) готували суміщенням кам'яновугільних дьогтів з полімером (від 0 % до 10 %) при температурі 105-110^{o}C впродовж 15 - 150 хвилин [9].

Для визначення оптимальної концентрації полістиролу в кам'яновугільних дьогтях різних в'язкостей і оптимального терміну приготування дьогтеполістирольних в'яжучих було прийнято композиційний несиметричний план на трьох цілочисельних рівнях (-1; 0; +1).

Оптимальні склади систем «дьоготь – ПС» визначали як оптимальні області допустимих значень факторів X_1, X_2, X_3 (табл.1).

Таблиця 1. Значення варійованих факторів

Система			Фізичний зміст фактора		
			Умовна в'язкість дьогтю за C_{30}^{10}, с	Масова концентрація полістиролу, %	Час приготування дьогтеполістирольного в'яжучого, хвил.
			X_1	X_2	X_3
Дьоготь -ПС	Інтервал варіювання		100	5	70
	Рівні фактора	-1	50	0	5
		0	150	5	75
		+1	250	10	145

Ці оптимальні області обмежені поверхнями рівня функції відклику за кожним з параметрів оптимізації (табл.2).

Матриця планування експерименту і отримані значення параметрів оптимізації надані в таблиці 3.

За критерій оптимальності плану прийнято критерій Д – оптимальності, який пов'язаний з мінімізацією об'єму еліпсоїду розсіювання оцінок параметрів рівнянь регресії [17]. З урахуванням критерію оптимальності було побудовано план експерименту (табл. 4).

Таблиця 2. Параметри оптимізації системи

№ з. п.	Код параметра оптимізації	Фізичний зміст параметра оптимізації	Одиниці виміру	Граничні значення функції відклику
1	Y_1	Температура розм'якшення в'яжучого	^{o}C	Не менше 33
2	Y_2	Еластичність в'яжучого при 0^{o}C	%	Не менше 25
3	Y_3	Розтяжність в'яжучого при 0^{o}C	м	Не менше 0,9
4	Y_4	Водонасичення дьогтеполімербетону	%	Не більше 2,0
5	Y_5	Границя міцності дьогтеполімербетону на стиск при 20^{o}C	МПа	Не менше 2,2
6	Y_6	Коефіцієнт тривалої водостійкості дьогтеполімербетону	-	Не менше 0,75

Таблиця 3. Матриця плану експерименту і отримані значення параметрів оптимізації

№ зп	X_1	X_2	X_3	$У_{11}$	$У_{12}$	$У_{21}$	$У_{22}$	$У_{31}$	$У_{32}$	$У_{41}$	$У_{42}$	$У_{51}$	$У_{52}$	$У_{61}$	$У_{62}$
1	-1	-1	-1	10	12	0	0	0,98	1,00	3,0	3,6	1,5	1,7	0,3	0,5
2	0	-1	0	18	22	0	0	1,00	0,96	2,2	1,8	2,5	2,1	0,7	0,5
3	1	-1	1	22	24	0	0	0,01	0,03	1,9	2,1	2,2	2,6	0,8	0,6
4	-1	0	0	21	25	26	24	1,00	0,96	2,2	1,8	2,5	2,1	1,0	0,6
5	0	0	1	29	25	2	4	0,03	0,01	1,7	2,3	2,1	2,7	0,7	0,9
6	1	0	-1	31	35	13	11	1,00	0,97	3,1	3,5	1,4	1,8	0,6	0,4
7	-1	1	1	29	25	4	2	0,01	0,03	2,2	1,8	2,6	2,2	0,7	0,9
8	0	1	-1	33	29	10	14	0,06	0,04	3,6	3,0	1,8	1,2	0,7	0,5
9	1	1	0	33	37	9	7	0,97	1,00	2,2	1,8	1,8	1,4	0,5	0,9
10	-1	-1	1	12	10	0	0	0,04	0,02	1,7	2,3	2,1	2,7	0,6	0,4
11	1	-1	-1	20	24	0	0	0,96	1,00	3,6	3,0	1,2	1,8	0,7	0,5
12	-1	1	-1	26	28	7	9	1,00	0,97	3,1	3,5	1,8	1,4	0,4	0,6
13	1	1	1	37	33	4	2	0,03	0,01	1,8	2,2	2,7	2,1	0,9	0,7

Таблиця 4. Матриця планування експерименту

№ зп	X_0	X_1	X_2	X_3	$X_1 \cdot X_2$	$X_1 \cdot X_3$	$X_2 \cdot X_3$	X_1^2	X_2^2	X_3^2
1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1
2	1	0	-1	0	0	0	0	0	1	0
3	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1
4	1	-1	0	0	0	0	0	1	0	0
5	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1
6	1	1	0	-1	0	-1	0	1	0	1
7	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1
8	1	0	1	-1	0	0	-1	0	1	1
9	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0
10	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1
11	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
12	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Для створеного плану експерименту (табл. 4) за методом найменших квадратів обчислено коефіцієнти рівнянь регресії за виразом [18]

$$b_i=(X^* \cdot X)^{-1} \cdot X^* \cdot Y, \qquad (1)$$

де b_i - коефіцієнт рівняння регресії;

X - матриця плану експерименту;

X^*- транспонована матриця плану експерименту;

$(X^* \cdot X)^{-1}$ – матриця, обернена добутку матриці плану експерименту на його транспоновану матрицю;

Y – вектор-стовбець результатів експерименту.

Обробка результатів експерименту і визначення коефіцієнтів рівнянь регресії з урахуванням їх значущості дозволили одержати поліноміальні моделі.

Статистичний аналіз отриманих результатів включає перевірку двох статистичних гіпотез:

- про значущість отриманих коефіцієнтів моделі;

- про адекватність представлення результатів експерименту здобутим рівнянням регресії [18], [19].

Коефіцієнти рівняння регресії підставлені в поліноміальну форму вигляду

$$Y_1 = b_0+b_1X_1+b_2X_2+b_3X_3+b_{12}X_1X_2+b_{13}X_1X_3+b_{23}X_2X_3+ b_{11}X_1^2+b_{22}X_2^2+b_{33}X_3^2 \qquad (2)$$

Для кожного з параметрів оптимізації за формулою (1) знайдено коефіцієнти регресії, які підставлені в рівняння (2). Рівняння регресії для кожного параметра оптимізації мають такий вигляд.

$$Y_1 = 28,97 + 4,90X_1 + 6,79X_2 + 0,003X_3 - 1,03X_1X_2 + 0,06X_1X_3 - 0,014X_2X_3 - 0,70X_1^2 - 3,24X_2^2 - 1,22X_3^2; \qquad (3)$$

$$Y_2 = 14,9 – 1,09X_1 + 3,39X_2 - 2,28X_3 - 0,24X_1X_2 + 0,054X_1X_3 - 2,07X_2X_3 + 3,91X_1^2 - 9,65X_2^2 - 6,24X_3^2 ; \qquad (4)$$

$$Y_3 = 0,879 - 0,010X_1- 0,098X_2 - 0,384X_3 - 0,043X_1X_2 + 0,046X_1X_3 + 0,089X_2X_3+ 0,311X_1^2 - 0,135X_2^2 - 0,614X_3^2; \qquad (5)$$

$$Y_4 = 2,0 - 0,65X_3-+4,55X_1X_3+9,08X_2X_3+ 31,50X_1^2-13,74X_2^2+0,65X_3^2; \qquad (6)$$

$$Y_5 = 2,222 - 0,083X_1 - 0,075X_2 + 0,426X_3 - 0,062X_1X_2 + 0,050X_1X_3 + 0,033X_2X_3 - - 0,072X_1^2 - 0,130X_2^2 - 0,086X_3^2; \qquad (7)$$

$$Y_6 = 0,789 - 0,025X_1 - 0,058X_2 + 0,106X_3 - 0,057X_1X_2 + 0,014X_1X_3 + 0,048X_2X_3 - 0,036X_1^2 - 0,069X_2^2 - 0,091X_3^2. \qquad (8)$$

Одержані рівняння регресії адекватні і задовольняють критерію Фішера; результати їх обробки представлені в таблиці 5.

Таблиця 5. Статистичні показники результатів обробки отриманих експериментальних даних

Показники	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6
Сума дисперсій	26	11	30	0,47	0,52	0,11
Дисперсія досліду середня	5,333	0,846154	5,6667	0,1	0,1111	0,02333
Сума дисперсій моделі	4,8087	107,47	2665,4	0,00191	0,14103	0,02389
Дисперсія адекватності	0,3699	8,2668	205,03	0,00147	0,01084	0,00183
$F_{Фішера} = Д_{досл.}/Д_{адекв.}$	14,418	0,1023	0,0276	16,8	10,2420	12,6938

Відповідно до отриманих рівнянь регресії (3) – (8) побудовано поверхні відклику (рис. 1 – рис. 6), які показують залежність відповідного параметра оптимізації (Y_1 - Y_6) від умовної в'язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1), масової концентрації полістиролу (X_2) і часу приготування дьогтеполістирольного в'яжучого (X_3).

З підвищенням умовної в'язкості дьогтю (X_1) від 50 с до 250 с за C_{30}^{10} і масової концентрації полістиролу (X_2) від 0 % до 10 % температура розм'якшення в`яжучого ($Y_1$) зростає від $10^0$C до $40^0$C за майже прямою пропорційною залежністю (рис.1, а). Зі збільшенням часу приготування дьогтеполістирольного в`яжучого (X_3) від 5 хв. до 145 хв. вона зростає від 28^0C до 32^0C (рис.1, б). Рисунок 1в підтверджує закономірності, показані на рис. 1а і рис. 1б.

а) б) в)

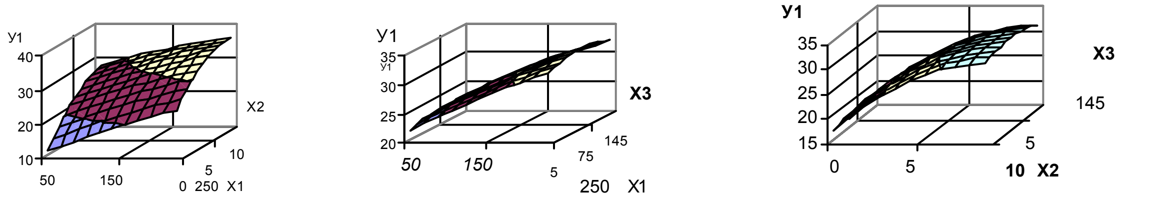


Рис. 1. Залежність температури розм’якшення в`яжучого, ^{0}C (Y_1) від:
а) умовної в’язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) та масової концентрації полістиролу (X_2);
б) умовної в’язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) та часу приготування дьогтеполістирольного в`яжучого (X_3);
в) масової концентрації полістиролу (X_2) та часу приготування дьогтеполістирольного в`яжучого (X_3)

Максимальну еластичність (20 %) при $0^{o}C$ (Y_2) (рис.2) і розтяжність (близько 1 м) при $0^{o}C$ (Y_3) (рис.3) в’яжуче має при масовій концентрації полістиролу (X_2) 5 % та часі приготування дьогтеполістирольного в`яжучого (X_3) впродовж 75 хвилин.

а) б) в)

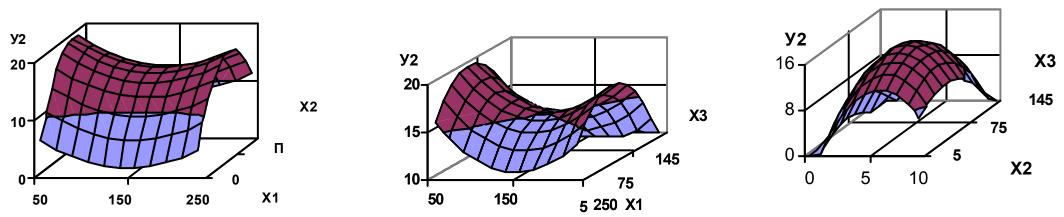


Рис. 2 . Залежність еластичності в`яжучого при $0^{0}C$, % (Y_2) від:
а) умовної в’язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) та масової концентрації полістиролу (X_2);
б) умовної в’язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) та часу приготування дьогтеполістирольного в`яжучого (X_3);
в) масової концентрації полістиролу (X_2) та часу приготування дьогтеполістирольного в`яжучого (X_3)

а) б) в)

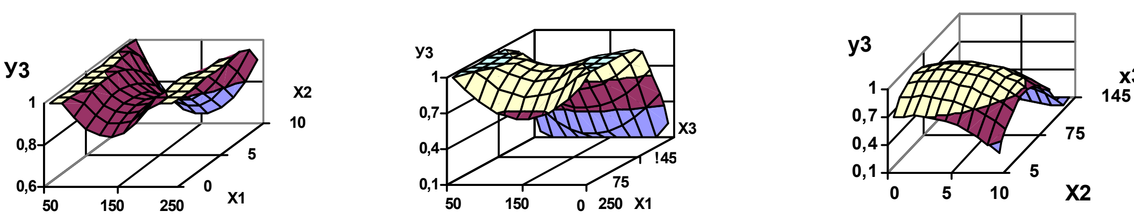


Рис. 3 Залежність розтяжності в`яжучого при $0^{0}C$, м (Y_3) від:
а) умовної в’язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) та масової концентрації полістиролу (X_2);
б) умовної в’язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) та часу приготування дьогтеполістирольного в`яжучого (X_3);
в) масової концентрації полістиролу (X_2) та часу приготування дьогтеполістирольного в`яжучого (X_3)

(рис. 4). Подальше суміщення полістиролу з кам'яновугільним дьогтем не призводить до зміни даного параметра оптимізації. Зростання умовної в'язкості дьогтю (X_1) від 50 с до 250 с за C_{30}^{10} і масової концентрації полістиролу (X_2) від 0 % до 10 % не змінює водонасичення дьогтеполімербетону (Y_4). Тривимірна діаграма рис.4а відсутня, тому що коефіцієнти рівняння регресії (6) при X_1 та X_2 дорівнюють 0. Це означає, що на водонасичення дьогтеполімербетону ці фактори не впливають.

б) в)

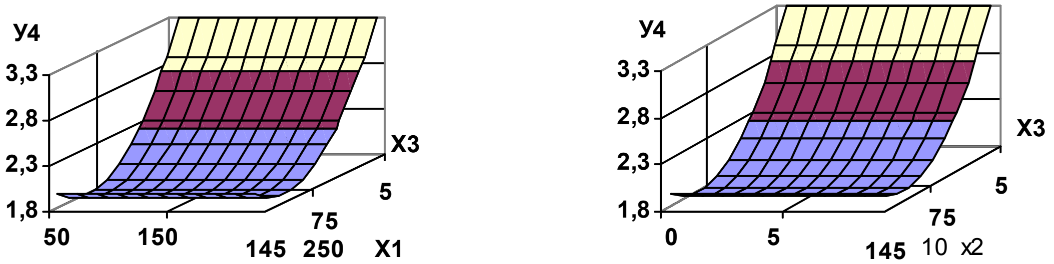


Рис. 4. Залежність водонасичення дьогтеполімербетону, % (Y_4) від:
б) умовної в'язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) та часу приготування дьогтеполістирольного в`яжучого (X_3);
в) масової концентрації полістиролу (X_2) та часу приготування дьогтеполістирольного в`яжучого (X_3)

Поверхня функції відклику границі міцності дьогтеполімербетону на стиск при 20^0C, МПа (Y_5) проходить через екстремум (майже при 2,3 МПа) при умовній в'язкості дьогтю 150 с за C_{30}^{10} (X_1) та масовій концентрації полістиролу (X_2) 5% (рис. 5а). З підвищенням часу приготування дьогтеполістирольного в`яжучого (X_3) від 5 до 145 хв. зазначений параметр оптимізації змінюється з 1,5 МПа до 2,5 МПа майже лінійно (рис.5, б, в).

Коефіцієнт тривалої водостійкості дьогтеполімербетону (Y_6) досягає екстремального значення (0,78) при умовній в'язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) 75 с та масовій концентрації полістиролу (X_2) 10% (рис. 6 а). Збільшення умовної в'язкості дьогтю (X_1) з 50 с до 250 с за C_{30}^{10} без полімеру (нульова масова концентрація полістиролу X_2) за майже прямою пропорційною залежністю призводить до зростання коефіцієнта тривалої водостійкості дьогтеполімербетону (Y_6) від 0,55 до 0,7 (лише в кінці зазначеного діапазону поверхня функції відклику стає пологою). Підвищення часу приготування дьогтеполістирольного в`яжучого (X_3) з 5 до 145 хв. сприяє збільшенню коефіцієнта тривалої водостійкості дьогтеполімербетону (Y_6) від 0,55 до максимального значення 0,85 при умовній в'язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) 250 с та масовій концентрації полістиролу (X_2) 10 % (рис.6, б, в).

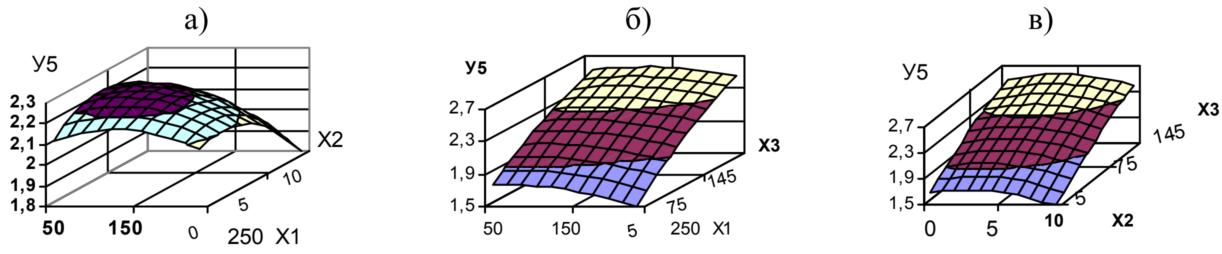


Рис. 5. Залежність границі міцності дьогтеполімербетону на стиск при 20^{0}С, МПа (Y_5) від:
а) умовної в’язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) та масової концентрації полістиролу (X_2);
б) умовної в’язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) та часу приготування дьогтеполістирольного в`яжучого (X_3);
в) масової концентрації полістиролу (X_2) та часу приготування дьогтеполістирольного в`яжучого (X_3)

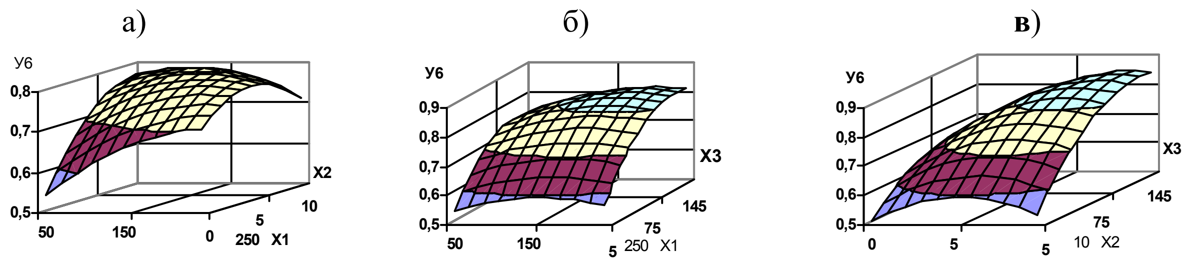


Рис. 6 Залежність коефіцієнта тривалої водостійкості дьогтеполімербетону (Y_6) від:
а) умовної в’язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) та масової концентрації полістиролу (X_2);
б) умовної в’язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) та часу приготування дьогтеполістирольного в`яжучого (X_3);
в) масової концентрації полістеролу (X_2) та часу приготування дьогтеполістирольного в`яжучого (X_3)

Отже, враховуючи граничні значення функцій відклику всіх параметрів оптимізації (Y_1 - Y_6), можна зазначити, що оптимальною система «дьоготь – полістирол» буде при умовній в’язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) 75 – 250 с, масовій концентрації полістиролу (X_2) 4,0–6,0 % та часі приготування дьогтеполістирольного в’яжучого (X_3) впродовж 70 – 80 хвилин.

Висновки

Вперше проведено математичне й комп’ютерне дослідження і оптимізацію системи «дьоготь – полістирол». За допомогою методів математичного планування експерименту на підставі розробленої математичної моделі та розрахованих й побудованих тривимірних діаграм «параметри оптимізації системи – фактори варіювання» доведено, що оптимальними концентраціями полістиролу в кам’яновугільних дьогтях є 4,0 – 6,0 % відповідно до їхніх в’язкостей

C^{10}_{30} = 75 с – 250 с, а час приготування дьогтеполістирольного в'яжучого становить 70 – 80 хвилин.

Проведення оптимізації дозволяє поліпшити якість кам'яновугільних в'яжучих і одержати, таким чином, дьогтеполістирольне в'яжуче з оптимальним комплексом фізико – механічних властивостей та екологічних характеристик. Воно з успіхом може бути застосоване для укріплення основ дорожніх одягів з горілих порід шахтних териконів. За своїми технічними показниками таке в'яжуче наближається до дорожніх нафтових бітумів. При цьому заощаджується високовартісний нафтовий продукт, а також зменшуються забруднення навколишнього середовища та поліпшуються умови праці під час виробництва в'яжучого і використання дьогтебетонів (леткі фракції дьогтю будуть частково поглинатися введеним полістиролом).

Література

1. Ключников И.Ф. Улучшение качества каменноугольных вяжущих / И.Ф. Ключников, С.В. Егоров, В.П. Володько // Автомобильные дороги. – 1983. - № 7. – С.10 – 11.
2. Даценко В.М. Дьогтеполімерні бетони підвищеної довговічності на основі в'яжучих, модифікованих відходами виробництва стиролу та полістиролу: автореф. дис. на здобуття наукового ступ. канд.техн.наук / В.М. Даценко.- Харків, 2006. – 18 с.
3. Фізико – хімічна механіка будівельних матеріалів / [В.І Братчун, В.О.Золотарьов, М.К. Пактер, В.Л. Беспалов]. – Макіївка – Харків: ДонНАБА, 2011. – 366 с.
4. Математичне моделювання оптимізації системи «дьоготь – полімер – деревний гідролізний лігнін»/О.І. Повзун, С.В. Кононихін, Т.В. Горячева та ін.] // Науково – теоретичний журнал «Штучний інтелект». – Донецьк:ІПШІ. – 2014, - № 2. – С.29 – 38.
5. Ansart Rene. Nue Aussichten fur ver wending von strassen teer / Rene Ansart // Bitum, Teere, Asph., Reche und verwstoff. – 1968. - № 8. – P. 304 – 308.
6. Колчанов А.Г. Применение полимеров при поверхностной обработке / А.Г. Колчанов // Автомобильные дороги. – 1971. - № 11. – С. 21 – 22.
7. Применение дегтеполимерных вяжущих при устройстве дорожных покрытий [В.П. Володько, А.Л. Хорошуля, М.Д. Круцык и др.] // Автомобильные дороги. – 1979. - № 10. – С. 24 – 25.
8. Думанский А.М. Использование отходов производства полистирола для повышения качества дегтей и дегтебетонов / А.М. Думанский, В.М. Даценко, В.П. Володько // Тезисы докладов всесоюзной конференции «Управление структурообразованием, структурой и свойствами дорожных бетонов». – Харьков, ХАДИ, 1983. – С. 91 – 92.
9. Повзун О.І. Про технологічні режими виготовлення дьогтеполімерних в'яжучих на основі полістирольного пилу / О.І. Повзун // Республіканський міжвідомчий науково – технічний збірник «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво». – К.: «Будівельник», 1984. – Вип. 34. – С. 54 – 57.
10. Каменноугольные дегти, модифицированные отходами производства фенилэтилена и его полимеров / [В.П. Володько, А.М. Думанский, В.В. Комаров, А.Г. Доля] // Автомобильные дороги.– 1985. - № 6. – С. 3 – 5.
11. Думанский А.М. Модификация каменноугольных дегтей добавками отходов производства стирола / А.М. Думанский, В.П. Володько, Т.В. Поличковская // Автодорожник Украины. – 1987. № 4 – С. 27 – 28.
12. Володько В.П. Вяжущие материалы из смолы обжиговых печей / В.П. Володько, В.М. Даценко // Тезисы докладов республиканской конференции «Ресурсосберегающие технологии, структура и свойства дорожных бетонов». – Харьков, ХАДИ, 1989. – С. 83 – 84.
13. Орел В.Д. Кам'яновугільні в'яжучі, модифіковані відходами виробництва полімерів феніл-етилену / В.Д. Орел, А.М. Думанський, О.В. Даценко // Автошляховик України. – 1994. - № 3. – С. 29 – 31.
14. Об особенностях структурообразования в дегтеполивинилхлоридых вяжущих / [В.И. Братчун, А.И. Повзун, М.К. Пактер и др.] // Автошляховик України. – 1997. - № 3. – С.34 – 35.
15. Определение составов и технологических режимов приготовления дегтеполимерных вяжущих / [И.М. Грушко, В.А. Золотарев, Б.А. Лишанский, В.И. Братчун] // Известия вузов. Сер. «Строительство и архитектура». – Новосибирск. - 1982. - № 2. – С. 67 – 70.

16. Рафалес – Лемарка Э.Э. Некоторые методы планирования и математического анализа биологических экспериментов / Э.Э. Рафалес – Лемарка, В.Г. Николаев . – К.: Наукова думка, 1971. – 119 с.
17. Голикова Т.И., Свойства Д - оптимальных планов и методы их построения / Т.И. Голикова, Н.Г. Микешина // Новые идеи в планировании эксперимента. – М.: 1969. - С. 34-39.
18. Кафаров В. В. Методы кибернетики в химии и химической технологии/В.В. Кафаров. – М.:Химия, 1971. – 496 с.
19. Налимов В.В. Статистические методы планирования екстремальных экспериментов /В.В. Налимов, Н.А. Чернова. - М.: Наука, 1965. - 30 с.

Literatura

1. Klyuchnikov I.F. Uluchsheniye kachestva kamennougol'nyh vjazhushhih / I.F. Klyuchnikov, S.V. Yegorov, V.P. Volod′ko // Avtomobil′nye dorogy. - 1983. - № 7. – S.10 – 11.
2. Dacenko V.M. Degtepolimerni betony pidvyshhenoї dovgovichnosti na osnovi v'jazhuchyh, modyfikovanyh vidhodamy vyrobnytstva styrolu i polistyrolu: avtoref. dys. na zdobuttja naukovogo stup. kand. tehn. nauk / V.M. Datsenko. - Harkiv, 2006. – 18 s.
3. Fizyko - himichna mehanika budivel′nyh materialiv / V.I. Bratchun, V.A. Zolotarev, M.K. Pakter, V.A. Bespalov]. - Makiïvka - - Harkiv: DonDABA, 2011. – 366 s.
4. Matematychne modelyuvannja optymizacії systemy «degot′ - polimer - derevnyj gidroliznyj lignin» / [O.I. Povzun, S.V. Kononyhin, T.V. Gorjacheva ta in.] // Naukovo - teoretychnyj zhurnal «Shtuchnyj itelekt». - Donec′k: Insnytut problem shtuchnogo intelektu MON i NAN Ukraïny. - 2014, - № 2. – S. 29 – 38.
5. Ansart Rene. Nue Aussichten fur ver wending von strassen teer / Rene Ansart // Bitum, Teere, Asph., Reche und verwstoff. – 1968. - № 8. – S. 304 – 308.
6. Kolchanov A.G. Primenenie polimerov pri poverhnostnoj obrabotre / A.G. . Kolchanov // Avtomobil′nye
7. dorogy. – 1971. - № 11. – S. 21 – 22.
8. Primenenie degtepolimernyh vjazhushhih pri ustrojstve dorozhnyh pokrytij [/ V.P. Volod′ko, A.L. Horoshulja, M.D. Krucyk i dr.] // Avtomobil′nye dorogy. - 1979. - № 10. – S. 24 – 25.
9. Dumansrij A.M. Ispol′zovanie othodov proizvodstva polistirola dlya povyshenuja kachestva degtej I degtebetonov / A.M. Dumansrij, V.M. Dacenko, V.P. Volod′ko // Tezisy dokladov vsesjyuznoj konferencії «Upravlenie strukturoobrazovanuem, strukturoj i svojstvami dorozhnyh betonov».- Harkov, HADI, 1983. – S. 91 – 92.
10. Povzun O.I. Pro tehnologichni rezhymy vygotovlennja degtepolimernyh v'jazhuchyh na osnovi polistyrol′nogo pylu / O.I. Povzun // Respublikans′kyj mizhvidomchyj naukovo - tehnichnyj zbirnyk «Avtomobil′ni dorogy i dorozhnje budivnyctvo». - K.: «Budivel′nyk», 1984. – Vyp. 34. – S. 54 – 57.
11. Kamennougol′nye degti, moduficyrovannye othodami proizvodstva feniljetilena i ego polimerov / V.P. Volod′ko, A.M. Dumansrij, V.V. Komarov, A.G. Dolja] // Avtomobil′nye dorogy. – 1985. - № 6. – S. 3 – 5.
12. Dumansrij A.M. . Modifikacija kamennougol'nyh degtej dobavkami othodov proizvodstva stirola / A.M. Dumansrij, V.P. Volod′ko, T.V. Polichkovskaja // Avtodorozhnik Ukrainy. - 1987. - № 4 – S. 27 – 28.
13. Volod′ko V.P. Vjazhushhie materialy iz smoly obzhygovyh pechej / V.P. Volod′ko, V.M. Dacenko // Tezisy dokladov respublikanskoj konferencії «Resursozberegajushhie tehnologii, strukturf i svojstva dorozhnyh betonov».- Harkov, HADI, 1989. – S. 83 – 84.
14. Orel V.D. Kam'janovugil'ni degti, modyfikovani bidhodamy vyrodnyctva polimeriv feniljetylenu / V.D. Orel, A.M. Dumansrij, O.V. Dacenko // Avtoshljahovyk Ukrainy. – 1994. - № 3. – S. 29 – 31.
15. 14. Ob osobennostjah strukturoobrazovanija v degtepolivinilhlorydnyh vjazhushhih /V.I. Bratchun, A.I. Povzun, M.K. Pakter i dr.] // Avtoshljahovyk Ukrainy – 1997. - № 3. – S.34 – 35.
16. Opredelenie sostavov i tehnologicheskih rezhymov prigotovlenija degtepolimernyh vjazhushhih /[I.M. Grushko, V.A. Zolotarev, B.A. Lishanskij, V.I. Bratchun] // Izvestija vuzov. Ser. «Stroitel'stvo i arhitektura». – Novosibirsk. - 1982. - № 2. – S. 67 – 70.
17. Rafales - Lamarka Je.Je. Nekotorye metody planirovanija i matematicheskogo analiza biologicheskih jeksperimentov / Je.Je. Rafales - Lamarka, V.G. Nikolaev. - K.: Naukova dumka, 1971. – 119 c.
18. 17. Golikova T.I. Svoystva D - optimal'nyh planov i metody ih postroeniya / T.I. Golikova, N.G. Mikeshina // Novye idei v planirovanii eksperimenta. – M.: 1969. - S. 34 – 39.
19. Kapharov V.V. Metody kibernetiki v himii i himicheskoi tehnologii / V.V. Kapharov V.V.. – M.; Himiya, 1971. – 496 s.
20. Nalimov V.V. Statisticheskie metody planirovaniya ekstremal'nyh eksperimentov / V.V. Nalimov, N.A. Chernova. - M.: Nauka, 1965. – 30 s.

RESUME

O.I. Povzun, S.O. Virych, S.V. Kononykhin, T.V. Goryacheva

Modeling of Optimum Influence of Parameters of an Intellectual System "Tar-polystyrene"

At first in article put a mathematical and computer reseach and optimization of theintellectual system "tar - polystyrol". Using the methods of mathematical planningexperiments on the basis of the developed mathematical model and designed and builtathree-dimensional charts parameter optimization system - factors of variation it is shown that the optimal concentrations of polystyrene in coal tar there 4,0 – 6,0 % according to their viscosity C_{30}^{10}=75 – 250 s, and the period of preparation dogeball binder is 70 – 80 minutes.

The optimization can improve the quality of coal binders and get tarpolistyrol binder with optimal mechanical properties. It can be successfully applied to strengthen the foundations of the pavement from the burnt rock mine waste heaps.

Due to their technical characteristics this binder is approaching road oil bitumen.

This saves expensive oil product, as well as reduced environmental pollution and improve working conditions during production binder and use tar concrete (volatile fractions of tar will be partially absorbed introduced by polystyrene).

Надійшла до редакції 12.06.2015